Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 39, No. 1, Spring 2025, p. 139-153

The Effect of Foliar Spraying of Iron, Zinc and Calcium in the Stages of Fruit Maturity on the Incidence and Severity of Pomegranate (*Punica granatum* L.) Aril Paleness

S. Karami[1], S. Faraji[2*]

1- Department of Agriculture, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran
2- Crop and Horticultural Science Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Arak, Iran
(*- Corresponding author's Email: s.faraji@areeo.ac.ir)

Received: 26-07-2024
Revised: 16-09-2024
Accepted: 28-09-2024
Available Online: 28-09-2024

How to cite this article:
Karami, S., & Faraji, S. (2025). The effect of foliar spraying of iron, zinc and calcium in the stages of fruit maturity on the incidence and severity of pomegranate (*Punica granatum* L.) aril paleness. *Journal of Horticultural Science*, *39*(1), 139-153. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89090.1366

Introduction

Mineral nutrients (macro and micro) and polyphenolic compounds are natural components of many fruits and play an important role in maintaining the quality and nutritional value of the fruit. Therefore, optimal management of plant nutrition in order to increase the quantity and quality of the product and improve the synthesis of secondary metabolites, especially during fruit growth, is necessary and unavoidable. Nevertheless, in the last decade, the occurrence of pomegranate (*Punica granatum* L.) aril paleness has been reported as a new and pervasive factor in reducing the quality of pomegranate fruit in many countries, including Iran. The present research was conducted with the aim of comparing the mineral concentrations (iron, zinc, and calcium) and biochemical characteristics (anthocyanin content) in pomegranates affected by aril paleness and healthy pomegranates of the ‘Malase Saveh’cultivar (2022). Additionally, the study aimed to investigate the effect of foliar application of the mentioned mineral elements on the incidence and severity of the aril paleness condition (2023).

Materials and Methods

This study was carried out during two years (2022 and 2023) and two independent trials. First, based on the introduced factors affecting the occurrence of pomegranate paleness (temperature, irrigation water and soil salinity), two orchards with medium and high percentage of pomegranate aril paleness (orchard number 9 and 17, respectively) were selected based on the results of Faraji & Karami (2024a). The first trial in 2022 (orchard No. 9): At harvest and after splitting fruits, twenty healthy fruits and affected fruits by the aril paleness disorder were randomly selected and were used for determination of mineral nutrient (Fe, Zn and Ca) and anthocyanin content in the laboratory. The second trial in 2023 (orchard No. 17): In the first phase, 70 trees were selected and labeled, then at the end of September (2022), percent and severity aril paleness of each tree was calculated. In the second phase (2023), based on the results of the first year, 54 trees as experimental unit (with aril paleness percentage>85 and paleness severity of high/very high) were selected from previous trees. Afterwards, a factorial experiment (3×3×2) based on a randomized complete block design with three replications and two stages (the beginning of fruit set and the beginning of fruit ripening) were implemented. Experimental treatments included foliar spraying with three concentrations of iron sulfate (0, 2 and 4 per thousand respectively F_0, F_2 and F_4), three concentrations of zinc sulfate (0, 3 and 6 per thousand respectively Zn_0, Zn_3 and Zn_6) and two concentrations of calcium chloride (0 and 4 per thousand respectively Ca_0 and Ca_4). Then at harvest, the percentage and severity of aril paleness each treatment was calculated.

https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89090.1366

Results and Discussion

Data analysis using the independent t-test (α=0.05, *df*=38) for the first trial (2022) showed that, the nutritional value of the affected fruit by aril paleness is anticipated to be far less than that of the healthy fruit; so that except for the Zn concentration, the concentration of Fe, Ca and anthocyanin content in affected fruits were lower than in healthy fruits. The results of the variance analysis for the second trial (2023) indicated that foliar spraying with iron sulfate, zinc sulfate, and calcium chloride, either individually or in combination, was effective in reducing the occurrence and severity of aril paleness. A comparison of the mean percentage of aril paleness between the two groups (before and after foliar spraying, regardless of the treatment combination) using a dependent t-test (α=0.05, df=16) also showed that foliar spraying was effective in reducing the percentage of aril paleness. Furthermore, the involvement of calcium in reducing the incidence and severity of aril paleness was found to be significant. In the absence of calcium element, the incidence of paleness was recorded in the range of 60.17-75.00%, and with the inclusion of calcium in the treatment compounds, the percentage of paleness was recorded in the range of 21.83-0.53%. Also, the mean comparison of the double interaction and main effects of elements indicated the synergistic effect of calcium element with Fe and Zn element in reducing the aril paleness disorder. So that, the combination of Fe-Ca and Zn-Ca has been more successful in reducing the aril paleness disorder than the pure application of each element of iron, zinc and calcium.

Conclusions

Overall, the simultaneous application of Zn-Fe in combination with Ca was more effective in reducing of the mentioned traits than other treatments. Therefore, in order to simultaneously reduce the occurrence and severity of aril paleness, spraying with $Fe_4Zn_6Ca_4$ and $Fe_4Zn_3Ca_4$ is recommended in two stages of pomegranate fruit development, including the beginning of fruit set and the beginning of fruit ripening.

Keywords: Anthocyanin, Foliar nutrition, Nutritional elements, Pomegranate orchards

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۹، شماره ۱، بهار ۱٤۰٤، ص. ۱۵۳-۱۳۹

تأثیر محلول‌پاشی آهن، روی و کلسیم در مراحل بلوغ میوه بر بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار (*Punica granatum* L.)

ثریا کرمی[۱] **- سکینه فرجی**[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۷

چکیده

پژوهش حاضر با هدف مقایسه ترکیبات معدنی (غلظت عناصر آهن، روی و کلسیم) و بیوشیمیایی (محتوای آنتوسیانین) انارهای (*Punica granatum* L.) مبتلا به عارضه سفیدشدگی آریل و سالم رقم 'ملس ساوه' (سال ۱۴۰۱) و بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر معدنی اشاره‌شده در بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل (سال ۱۴۰۲) طراحی گردید. در سال ۱۴۰۲، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل (۲×۳×۳) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار و دو مرحله (شروع تشکیل میوه و شروع رسیدگی میوه) اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی با سه غلظت سولفات آهن (صفر، دو و چهار در هزار به‌ترتیب F_0، F_2 و F_4)، سه غلظت سولفات روی (صفر، سه و شش در هزار به‌ترتیب Zn_0، Zn_3 و Zn_6) و دو غلظت کلسیم کلرید (صفر و چهار در هزار به‌ترتیب Ca_0، و Ca_4) بودند. براساس آزمون $t_{(\alpha=۰/۰۵,\ df=۳۸)}$ مستقل، به استثناء غلظت Zn، غلظت عناصر Fe، Ca و محتوای آنتوسیانین در میوه‌های سالم بیشتر از میوه‌های آسیب‌دیده بود. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محلول‌پاشی با سولفات آهن، سولفات روی و کلسیم کلرید به‌صورت جداگانه یا ترکیبی در کاهش وقوع و شدت سفیدشدگی آریل مؤثر بود. از سوی دیگر، تأثیر مشارکت عنصر کلسیم در کاهش بروز عارضه سفیدشدگی آریل قابل ملاحظه و حاکی از اثر هم‌افزایی عنصر کلسیم با عناصر آهن و روی بود؛ به‌طوری‌که کاربرد همزمان Fe–Zn در ترکیب با Ca کارآیی بیشتری نسبت به سایر تیمارها برای کاهش صفات مورد اشاره داشت. ازاین¬رو، به‌منظور کاهش همزمان در وقوع و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار، محلول‌پاشی با سولفات آهن چهار در هزار -سولفات روی شش یا سه در هزار- کلسیم کلرید چهار در هزار ($Fe_4Zn_3Ca_4$، $Fe_4Zn_6Ca_4$) در دو مرحله شروع تشکیل میوه و شروع رسیدگی میوه انار توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، باغات انار، تغذیه برگی، عناصر غذایی

مقدمه

انار (*Punica granatum* L.) یکی از مهم‌ترین میوه‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری شناخته‌شده در دنیا است که متابولیت‌ها و ترکیبات زیست‌فعال متعددی از جمله تری‌پنوئیدها، توکوفرول، پلی-فنل‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها از میوه این گونه گیاهی گزارش شده است (Bedigian, 2007). از بین متابولیت‌های ثانویه، آنتوسیانین به‌عنوان یک ترکیب فلانوئیدی محلول در آب (ساخته‌شده در سیتوزول و ذخیره‌شده در واکوئل)، علاوه‌بر خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی، عامل رنگ قرمز، نارنجی، ارغوانی، بنفش، آبی و سیاه در بسیاری از بافت‌های گیاهی می‌باشد (Aizza *et al.*, 2011). اطلاعات موجود نشان می‌دهند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ارزش غذایی و تجاری قابل ملاحظه میوه انار به سبب محتوای بالای آنتوسیانین‌های پوست و آب میوه آن است (Gil *et al.*, 2000)، به طوری‌که هرچه مشتقات گلوکوزیدی آنتوسیانین‌ها در آریل بیشتر باشد، میوه‌ها از کیفیت و بازارپسندی بالاتری برخوردار می‌باشند (Borochov-Neori *et al.*, 2009).

علاوه‌بر اهمیت متابولیت‌های ثانویه، میوه انار یک منبع غنی از مواد معدنی است که محتوای این عناصر غذایی (ماکرو: پتاسیم، نیتروژن، کلسیم، فسفر، منیزیم و سدیم و میکرو: بور، آهن، مس، روی

۱- گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران
(*- نویسندگان مسئول: Email: s.faraji@areeo.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jhs.2024.89090.1366

و منگنز) در طی مراحل رشد و رسیدگی میوه تغییر می‌کند (Mirdehghan & Rahemi, 2007). از بین عناصر معدنی، ارتباط و نقش عناصر کلسیم، آهن و روی با سنتز آنتوسیانین در بسیاری از میوه‌ها و بافت‌های گیاهی به اثبات رسیده است (Davarpanah *et al.*, 2013; Song *et al.*, 2015).

کلسیم یکی از عناصر ضروری و پرمصرف برای گیاهان است که نقش کلیدی در استحکام دیواره سلولی، حفظ انسجام و پایداری غشاء، کنترل تبادلات و انتخاب‌پذیری یون‌ها و همچنین رشد، توسعه و کیفیت عمومی میوه‌ها ایفا می‌کند (Moradinezhad *et al.*, 2018). مطالعات کوشش صبا و همکاران (Koushesh-Saba *et al.*, 2016) نشان داد که محلول‌پاشی میوه زردآلو با استفاده از کلسیم منجر به افزایش غلظت کلسیم میوه و تأخیر در تولید اتیلن، نرمی و تغییر رنگ بافت داخلی و خارجی میوه می‌شود. همچنین از کلسیم در مراحل قبل و بعد از برداشت برای به تأخیر انداختن مرحله رسیدگی میوه و جلوگیری از اختلالات فیزیولوژیکی میوه‌های مختلف استفاده می‌شود، زیرا تحرک کم عنصر کلسیم در بافت‌های گیاهی ثابت شده است (Cheour *et al.*, 1990). از سوی دیگر، بروز عوارضی همچون قهوه‌ای شدن بخش درونی کلم و سیاه شدن مغز در کرفس به کمبود کلسیم نسبت داده شده است (Rahemi, 2011). ارتباط بین محلول-پاشی کلسیم بر افزایش کمّی و کیفی بسیاری از میوه‌ها توسط پژوهشگران مختلف نیز گزارش شده است (Ahmadi *et al.*, 2023; Abdollahi *et al.*, 2024).

آهن، عنصری ضروری در فرآیند رشد و نمو گیاهان است که نقش آن در متابولیسم سلولی، سنتز کلروفیل، زنجیره انتقال الکترون، فتوسنتز و تنظیم فعالیت آنزیم‌های چرخه کلوین اثبات شده است (Schaart *et al.*, 2013). مطالعات نشان داده است که آهن در تولید و ذخیره متابولیت‌های ثانویه از جمله فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها نقش دارد (Amaliotis *et al.*, 2002; Landi *et al.*, 2014). همچنین هامودا و همکاران (Hamouda *et al.*, 2015) نشان دادند که تیمار میوه‌های گلابی از طریق محلول‌پاشی با آهن (غلظت ۲۵۰ ppm) منجر به افزایش کیفیت و عملکرد میوه‌های گلابی گردید. از سوی دیگر، کاهش شدید محتوای فنولی و آنتوسیانینی میوه‌های هلو ناشی از کمبود آهن نیز به اثبات رسیده است (Álvarez-Fernández *et al.*, 2011).

عنصر روی به‌عنوان یکی دیگر از ریزمغذی‌های مؤثر در افزایش کیفیت و کمیت بافت میوه، در تنظیم متابولیسم پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها و همچنین در واکنش‌های آنزیمی نقش دارد (Hasani *et al.*, 2012). عنصر روی باعث کاهش سطح تولید اکسیژن فعال در شرایط تنش و آسیب‌های ناشی از آن می‌شود (Amirinejad *et al.*, 2015). همچنین مطالعات نشان داد که استفاده از کود آهن و روی به افزایش آنتوسیانین در انگور قرمز منجر گردید (El-Razek *et al.*, 2015).

با توجه به اهمیت کیفی میوه انار از نظر تجاری، غذایی و دارویی، متأسفانه در یک دهه اخیر عارضه سفیدشدگی آریل انار با تأثیرگذاری مستقیم بر رنگ، طعم، شفافیت، ساختار ظاهری و محتوای آنتوسیانین آریل به‌عنوان عامل جدید و فراگیر در کاهش کیفیت میوه انار در بسیاری از کشورها و از جمله ایران گزارش شده است (Meighani *et al.*, 2014; Faraji & Karami, 2024a). در بسیاری از مطالعات، دمای محیط به‌عنوان مهم‌ترین عامل در بروز و شدت پدیده سفیدشدگی آریل انار و تغییر رنگ بافت آریل‌ها از قرمز تیره به سفید کرمی تا قهوه‌ای گزارش شده است (Meighani *et al.*, 2014; Ghasemi-Soloklui *et al.*, 2023). در همین راستا، استفاده از پوشش سایبان به‌عنوان یک راه حل در کاهش دمای سطح برگ، کاهش تنش گرمایی و کم‌آبی و کاهش سطح تبخیر و تعرق درختان و در نتیجه، افزایش میزان فتوسنتز، تولید بیشتر کربوهیدرات، محتوای آنتوسیانین و در نتیجه، افزایش کیفیت محصول در مدیریت باغ‌های انار توصیه شده است (Sedaghat *et al.*, 2021; Narjesi *et al.*, 2021). از سوی دیگر، نتایج مطالعات نشان داده است که مواد مغذی معدنی و ترکیبات پلی‌فنولی که جزء طبیعی بسیاری از میوه‌ها هستند، نقش مهمی در حفظ کیفیت و ارزش غذایی میوه ایفا می‌کنند (Mirdehghan & Rahemi, 2007) و مدیریت بهینه تغذیه گیاه در راستای افزایش کمیت و کیفیت محصول و بهبود سنتز متابولیت‌های ثانویه به‌خصوص در دوران رشد و نمو میوه امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر می‌باشد (Rajpal *et al.*, 2002). با این وجود، علی‌رغم اهمیت عناصر معدنی در میوه انار در کنار ترکیبات بیوشیمیایی، در خصوص تأثیر عارضه سفیدشدگی آریل بر محتوای عناصر معدنی میوه انار و به دنبال آن توصیه‌های مدیریتی کارآمد در این خصوص، اطلاعات مدوّن و مکفی وجود ندارد. بنابراین مطالعه حاضر با هدف: ۱- بررسی تفاوت میزان عناصر آهن، روی، کلسیم و محتوای آنتوسیانین در میوه‌های سالم و آسیب‌دیده با عارضه سفیدشدگی آریل انار رقم 'ملس ساوه' و ۲- بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر آهن، روی و کلسیم بر بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار رقم 'ملس ساوه' به‌منظور معرفی بهترین ترکیب تیماری در کاهش عارضه (شدت و درصد وقوع) طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر طی دو سال (۱۴۰۲-۱۴۰۱) در باغ‌های انار منطقه ساوه (درختان انار نه‌ساله رقم ٬ملس ساوه٬ با فاصله کشت ۵ × ۵ متر) اجرا گردید. شهرستان ساوه در شمال استان مرکزی، بین عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه طول شرقی واقع شده است. منطقه ساوه به‌دلیل مجاورت با کویر و ارتفاع کم در شرق دارای آب‌وهوای گرم و نیمه‌خشک و در غرب به‌دلیل مشرف بودن به مناطق کوهستانی دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است. میانگین دمای سالانه در ایستگاه ساوه ۱۸/۲ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی کم و حدود ۲۱۶ میلی‌متر در سال می‌باشد و بیشتر بارش به‌صورت باران است. متوسط رطوبت شهر ساوه ۳۹ درصد می‌باشد که ماه دی با میانگین ۵۸ درصد مرطوب‌ترین ماه و ماه‌های تیر و مرداد با میانگین ۲۶ درصد خشک‌ترین ماه‌های سال می‌باشند.

با توجه به اینکه از نظر ظاهری بین میوه آسیب‌دیده (مبتلا به عارضه سفیدشدگی آریل انار) و سالم تا پایان مرحله رسیدگی میوه، تفاوتی وجود ندارد، لذا انتخاب واحدهای آزمایشی براساس نتایج مطالعه فرجی و کرمی (Faraji & Karami, 2024a) انجام شد. فرجی و کرمی (Faraji & Karami, 2024a) در طی یک دوره دوساله (۱۴۰۰-۱۳۹۹)، میزان پراکنش عارضه سفیدشدگی آریل انار رقم ٬ملس ساوه٬ در ۱۹ باغ در منطقه ساوه را تعیین نمودند. ازاین¬رو برای آزمایش سال اول و دوم مطالعه حاضر، به‌ترتیب باغ شماره ۹ با میانگین ۴۴/۵ درصد عارضه سفیدشدگی آریل انار و باغ شماره ۱۷ با بیشترین درصد سفیدشدگی در طی دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ (۷۸/۰۰ و ۹۴/۰۰ درصد) انتخاب شدند.

آزمایش اول (سال ۱٤۰۱): به‌منظور بررسی تأثیر عارضه سفیدشدگی آریل بر میزان برخی عناصر غذایی ماکرو و میکرو میوه-های انار، در پایان شهریور ماه ۱۴۰۱ و پس از رسیدگی فیزیولوژیکی میوه‌ها (بلوغ تجاری)، کلیه میوه‌های باغ شماره ۹ برداشت و پوست میوه‌ها در ناحیه استوایی با یک چاقوی تیز به‌دقت بریده و میوه‌های آسیب‌دیده (با شدت آسیب زیاد و خیلی زیاد، شکل ۱) و سالم از یکدیگر جدا و به دو گروه (به‌ترتیب گروه ۱ و گروه ۲) تقسیم شدند. در ادامه، به‌منظور اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین و مقدار عناصر آهن (Fe)، روی (Zn) و کلسیم (Ca)، از هر گروه ۲۰ میوه به‌طور تصادف انتخاب گردید و پس از جداسازی آریل از میوه‌های انتخابی، آب‌گیری از آریل‌ها با استفاده از دستگاه آبمیوه‌گیری دستی انجام شد. سپس عصاره حاصل با سرعت دوران ۶۰۰۰ دور در دقیقه و به‌مدت پنج دقیقه سانتریفیوژ و محلول روشناور جدا گردید.

مقدار عناصر آهن، روی و کلسیم در محلول روشناور حاصل از عصاره آب میوه انار در هر دو گروه با استفاده از طیف‌سنج اتمی (Perkin-Elmer 400) آنالیز و اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین، ابتدا عصاره با استفاده از متانول و مطابق دستورالعمل سیگلمن و هندریک (Siegelman & Hendricks, 1958) رقیق‌سازی گردید. سپس محتوای آنتوسیانین موجود در عصاره با استفاده از روش pH افتراقی دو سیستم بافری پتاسیم کلرید (KCl, 0.025M) با pH= ۱ و سدیم استات (CH_3COONa, 0.4M) با pH= ۴/۵ مطابق دستورالعمل گاستی و رولستاد (Giusti & Wrolstad, 2001) و در طول موج‌های ۵۳۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. نتایج طبق معادله ۱ و براساس میلی‌گرم سیانیدین-۳- گلوکوزاید در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب میوه (mgCyd.100ml-1J) گزارش گردید.

(۱)

$$A = (A530 - A700)_{pH\ 1.0} - (A530 - A700)_{pH\ 4.5}$$
$$Cyad\text{-}3\text{-}glu\ [mg.100ml^{-1}] = (A \times MW \times DF \times 1000)/(\varepsilon \times 1)$$

که در آن، MW: وزن مولکولی Cyd-3-glu (۴۴۹/۲ $g.mol^{-1}$)، DF: فاکتور رقت، ε: ضریب خاموشی برابر ۲۶۹۰۰، ۱۰^{۳}: فاکتور برای تبدیل گرم به میلی‌گرم و ۱: ارتفاع کریستال استفاده‌شده بر حسب سانتی‌متر می‌باشد.

آزمایش دوم (سال ۱٤۰۲): به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سولفات آهن، سولفات روی و کلسیم کلرید بر بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل (۳×۳×۲) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل سه غلظت سولفات آهن (صفر، دو و چهار در هزار به‌ترتیب F_0، F_2 و F_4)، سه غلظت سولفات روی (صفر، سه و شش در هزار به‌ترتیب Zn_0، Zn_3 و Zn_6) و دو غلظت کلسیم کلرید (صفر و چهار در هزار به‌ترتیب Ca_0 و Ca_4) بود. این آزمایش در طی دو فاز شامل فاز مقدماتی (سال ۱۴۰۱) به‌منظور انتخاب واحدهای آزمایشی مناسب و سپس فاز اصلی (سال ۱۴۰۲) به‌منظور محلول‌پاشی در باغ شماره ۱۷ اجرا گردید.

فاز مقدماتی: در سال ۱۴۰۱ از باغ شماره ۱۷ به‌دلیل بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار با میانگین ۸۶ درصد در طی دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ براساس نتایج مطالعه فرجی و کرمی (Faraji & Karami, 2024a)، ۷۰ درخت انتخاب و پلاک‌گذاری گردید و در پایان شهریورماه پس از برداشت میوه، درصد و شدت سفیدشدگی آریل انار هر درخت براساس دستورالعمل کاوند و همکاران (Kavand *et al.*, 2020) محاسبه گردید. براساس نتایج به‌دست‌آمده و به‌منظور انتخاب واحدهای آزمایشی (درخت) برای اجرای آزمایش سال دوم

(۱۴۰۲)، ۵۴ درخت از ۷۰ درخت پلاک‌گذاری‌شده، مجدداً انتخاب و پلاک‌گذاری گردید. مبنای انتخاب، درخت‌هایی با بیش از ۸۵ درصد سفیدشدگی آریل انار و میوه‌های آسیب‌دیده با شدت آسیب زیاد تا خیلی زیاد بود.

فاز اصلی: در سال ۱۴۰۲، محلول‌پاشی درختان انتخابی با ۱۸ ترکیب تیماری (هر کرت آزمایشی شامل سه درخت بود) دو بار در طی فصل رشد انجام گردید. مرحله اول محلول‌پاشی در پایان گل‌دهی و شروع تشکیل میوه (اوایل خرداد) و مرحله دوم، دو ماه پس از محلول‌پاشی اولیه (پایان مرحله رشد سریع میوه و شروع مرحله رسیدگی میوه) انجام شد. قبل از محلول‌پاشی، برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک باغ شماره ۱۷ اندازه‌گیری شد. همچنین نمونه‌برداری تصادفی از برگ‌های میانی درختان انتخابی انجام و غلظت عناصر غذایی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس اندازه‌گیری شد. در پایان شهریورماه (سال ۱۴۰۲)، میوه‌های هر تیمار در مرحله بلوغ تجاری (باغبانی) برداشت و به آزمایشگاه بخش علوم باغبانی مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، مرکز تحقیقات، آموزش ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی انتقال و پس از شکافتن میوه‌ها، شدت و درصد عارضه سفیدشدگی-آریل انار براساس دستورالعمل کاوند و همکاران (Kavand *et al.*, 2020) اندازه‌گیری شد.

به‌منظور اندازه‌گیری شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار در تیمارهای اعمال‌شده، پس از شکافتن میوه و بررسی ظاهری آریل یک مقیاس پنج رتبه‌ای (۵-۱) در نظر گرفته شد (شکل ۱) و سپس متوسط درصد سفیدشدگی در هر تیمار براساس معادله ۲ تعیین گردید (Kavand *et al.*, 2020):

$$PP = \sum (n \times b) \times 100 \Big/ \sum (N \times Maxb) \quad (۲)$$

که در آن، PP: درصد سفیدشدگی، N: تعداد کل میوه‌های هر ژنوتیپ، n: تعداد میوه‌های هر ژنوتیپ که که امتیاز ثبت‌شده مشابهی دارند، b: رتبه داده‌شده براساس شدت عارضه و Maxb: حداکثر رتبه داده شده به‌شدت عارضه که برابر با پنج بود.

تجزیه و تحلیل آماری

آزمون نرمال بودن داده‌های کمّی براساس روش کلموگروف-اسمیرنوف انجام گردید. تجزیه داده‌های مربوط به آزمایش اول با استفاده از آزمون پارامتری t مستقل انجام گردید و برای تجزیه داده‌های سال دوم از روش تجزیه واریانس (ANOVA)، رویه GLM استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین تیمارهای محلول‌پاشی با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و آزمون پارامتری t وابسته در سطح احتمال $p \leq ۰/۰۵$ توسط نرم‌افزار SAS انجام شد.



شکل ۱- شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار در رقم'ملس ساوه'با مقیاس ۱ (سالم و بدون عارضه)؛ ۲ (عارضه با شدت کم)؛ ۳ (عارضه با شدت متوسط)؛ ٤ (عارضه با شدت زیاد)؛ ٥ (عارضه با شدت بسیار زیاد)

Figure 1- Severity of pomegranate aril paleness complication in 'Malase Saveh' cultivar with scale 1 (healthy and without complications); 2 (complication with low intensity); 3 (complication with moderate intensity); 4 (complication with high intensity); 5 (complication with very high intensity)

نتایج و بحث

نتایج آزمایش اول: نتایج آزمون $t_{(\alpha=۰/۰۵,\ df=۳۸)}$ مستقل نشان داد که بین میوه‌های سالم و آسیب‌دیده از نظر میانگین محتوای عناصر آهن، روی و کلسیم و همچنین محتوای آنتوسیانین تفاوت معنی‌داری ($p<۰/۰۵$) وجود داشت (جدول ۱)، به‌طوری‌که، کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده به استثناء میزان عنصر روی در میوه‌های تحت تأثیر عارضه سفیدشدگی آریل انار کاهش چشم‌گیری داشته‌اند.

نتایج آزمایش دوم: بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باغ شماره ۱۷ (جدول ۲) نشان‌دهنده فقیر بودن خاک مورد آزمایش به‌خصوص از نظر عناصر غذایی میکرو، میزان ماده آلی و همچنین کیفیت نامطلوب از نظر ضریب هدایت الکتریکی (EC) بود. از سوی دیگر، نتایج بررسی غلظت عناصر غذایی برگ درختان انتخابی قبل از محلول‌پاشی (جدول ۳) نیز حاکی از پائین بودن میزان عناصر غذایی از حد بحرانی عمومی برای درختان میوه بود (Ankerman, 1974).

جدول ۱- مقایسه عناصر معدنی و محتوی آنتوسیانین در انارهای سالم و آسیب‌دیده (عارضه سفیدشدگی آریل انار) با استفاده از آزمون پارامتری مستقل $t_{(\alpha=0.05,\ df=38)}$ (سال ۱۴۰۱-باغ شماره ۹)

Table 1- Comparison of mineral elements and anthocyanin content in healthy and damaged pomegranates (pomegranate aril paleness) using parametric t-test independent $_{(\alpha=0.05;\ df=38)}$ (Year 2022-Orchard No. 9)

پارامتر Parameter	آماره آزمون t t-test statistic	میوه‌های سالم Healthy fruits	میوه‌های آسیب‌دیده Damaged fruits
آهن Fe (mg.kg^{-1})	5.81*	39.98^{a}	26.25^{b}
روی Zn (mg.kg^{-1})	3.76*	21.41^{b}	25.63^{a}
کلسیم Ca (g.kg^{-1})	12.10*	1.59^{a}	0.62^{b}
آنتوسیانین Anthocyanin (mg Cyd.100 ml^{-1} J)	8.38*	26.84^{a}	4.79^{b}
شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار Severity of pomegranate aril paleness complication	_	_	شدت زیاد-شدت خیلی زیاد High severity-Very high severity

* در هر ردیف میانگین‌هایی با حرف مشترک، از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

* In each row, means with a common letter do not statistically have a significant difference at the 5% probability level

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش (باغ شماره ۱۷)

Table 2- Physicochemical properties of soil used in the experiment (Orchard No. 17)

کربن آلی Organic carbon (%)	آهک معادل Lime (%)	نیتروژن N (%)	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	فسفر P (mg.kg^{-1})	مس Cu (mg.kg^{-1})	روی Zn (mg.kg^{-1})	منگنز Mn (mg.kg^{-1})	آهن Fe (mg.kg^{-1})	ضریب هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH
0.34	28.3	0.02	9.10	3.2	0.21	0.97	4.63	4.41	4<	8.93

خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد

Physicochemical properties of soil was measured at two depths: 0–30 and 30–60 cm

جدول ۳- غلظت عناصر غذایی برگ درختان انتخابی قبل از محلول‌پاشی (باغ شماره ۱۷)

Table 3- The concentration of nutrients in the leaves of selected trees before spraying (Orchard No. 17)

عناصر ماکرو Macro elements				عناصر میکرو Micro elements				
نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	کلسیم Ca (%)	آهن Fe (µg.g^{-1})	منگنز Mn (µg.g^{-1})	روی Zn (µg.g^{-1})	مس Cu (µg.g^{-1})	بر B (µg.g^{-1})
1.95	0.10	1.21	2.45	108	28	16	7	15

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تیمارهای مختلف محلول‌پاشی (جدول ۴) نشان داد که اثر کاربرد خالص تیمار سولفات آهن، سولفات روی و کلسیم کلرید بر درصد و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار معنی‌دار بود (p<۰/۰۱). همچنین اثرات محلول‌پاشی میوه با استفاده از ترکیب آهن-روی، آهن-کلسیم و کلسیم-روی (اثرات متقابل دوگانه از نظر آماری) و ترکیب سولفات آهن-سولفات روی-کلسیم کلرید (اثرات متقابل سه‌گانه از نظر آماری) بر پارامترهای مورد اشاره معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج آزمون $t_{(\alpha=0.05,\ df=2)}$ وابسته نشان داد که میانگین درصد سفیدشدگی هر ترکیب تیماری قبل و بعد از آزمایش تفاوت معنی‌داری داشته و بعد از محلول‌پاشی، درصد سفیدشدگی کاهش یافته است (جدول ۵). همچنین نتایج آزمون مقایسه میانگین درصد سفیدشدگی آریل انار قبل و بعد از محلول‌پاشی صرف نظر از نوع ترکیب تیماری براساس آزمون $t_{(\alpha=0.05,\ df=16)}$ وابسته نیز نشان داد که محلول‌پاشی در کاهش وقوع درصد سفیدشدگی مؤثر بوده است.

در ادامه، نتایج مقایسه میانگین تیمارها پس از محلول‌پاشی براساس آزمون LSD نشان داد که اعمال هر یک از تیمارهای محلول‌پاشی منجر به کاهش معنی‌دار بر درصد سفیدشدگی آریل انار گردید (جدول ۵). با این وجود، در خصوص ترکیب‌های تیماری اعمال‌شده، تأثیر مشارکت عنصر کلسیم در کاهش بروز عارضه

سفیدشدگی آریل انار قابل ملاحظه بود. به‌طوری‌که، در غیاب عنصر کلسیم در ترکیبات تیماری، بروز عارضه سفیدشدگی در محدوده ۱۷/۰۰-۶۰/۷۵ درصد و با ورود عنصر کلسیم در ترکیبات تیماری (خالص-ترکیبات دوتایی یا سه‌تایی با دو عنصر روی و آهن)، درصد عارضه سفیدشدگی در محدوده ۵۳/۳۰-۲۱/۸۳ درصد ثبت گردید (جدول ۵).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی سولفات آهن، سولفات روی و کلسیم کلرید بر درصد سفیدشدگی آریل انار رقم 'ملس ساوه' (سال ۱٤۰۲-باغ شماره ۱۷)

Table 4- ANOVA for the effect of foliar spraying of iron sulfate, zinc sulfate, and calcium chloride on the percentage of paleness of pomegranate arils of 'Malase Saveh' cultivar (Year 2023-Orchard No. 17)

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares — سفیدشدگی آریل انار Pomegranate aril paleness
تکرار Rep.	2	20.28
آهن Fe	2	485.1**
روی Zn	2	1117.6**
کلسیم Ca	1	2147.2**
آهن× روی Fe×Zn	4	577.6**
آهن× کلسیم Fe×Ca	2	835.4**
کلسیم× روی Zn×Ca	2	1526.6**
آهن× روی× کلسیم Fe×Zn×Ca	4	1118.2**
خطا Error	34	60.62
ضریب تغییرات C.V(%)	-	13.05

**: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

**: significant at the 1% of probability level

در ادامه، بررسی اثرات ساده هر یک از عناصر در کاهش درصد سفیدشدگی آریل انار نشان داد که کاربرد کلسیم کلرید به‌صورت خالص ($Fe_0Zn_0Ca_4$) و سولفات آهن با غلظت چهار در هزار ($Fe_4Zn_0Ca_0$) به‌ترتیب با ۴۸/۸۰ و ۶۴/۷۵ درصد سفیدشدگی، بیشترین تأثیر را در کاهش درصد سفیدشدگی انار ثبت نمودند. اثربخشی سایر عناصر در غلظت‌های مورد استفاده به‌صورت خالص به‌صورت زیر ثبت گردید (جدول ۵):

$Fe_0Zn_0\mathbf{Ca_4}$> $\mathbf{Fe_4}Zn_0Ca_0$> $\mathbf{Fe_2}Zn_0Ca_0$> $Fe_0\mathbf{Zn_6}Ca_0$> $Fe_0\mathbf{Zn_3}Ca_0$

بررسی اثرات متقابل دوگانه عناصر مورد استفاده نیز نشان داد که ترکیب سولفات آهن – کلسیم کلرید (۳۸/۰۰ و ۳۰/۳۳ درصد عارضه سفیدشدگی) و سولفات روی- کلسیم کلرید (۴۵/۳۳ و ۴۱/۸۳ درصد عارضه سفیدشدگی) در مقایسه با ترکیب سولفات آهن-سولفات روی (۷۵/۰۰، ۷۰/۱۶، ۶۴/۰۰ و ۶۰/۱۷ درصد عارضه سفیدشدگی) در کاهش عارضه سفیدشدگی موفق‌تر عمل نمودند (جدول ۵). از سوی دیگر، مقایسه اثرات متقابل دوگانه با اثرات ساده، حاکی از اثر هم افزایی عنصر کلسیم با عنصر آهن و روی در کاهش عارضه سفیدشدگی بود، به‌طوری‌که ترکیب سولفات آهن-کلسیم کلرید و سولفات روی-کلسیم کلرید نسبت به کاربرد خالص هر یک از عناصر به‌صورت سولفات آهن، سولفات روی و کلسیم کلرید در کاهش عارضه سفیدشدگی موفق‌تر بوده‌اند (جدول ۵). برتری ترکیب‌های تیماری به‌صورت خالص و ترکیب متقابل دوگانه به‌صورت زیر ثبت گردید:

$\mathbf{Fe_4}Zn_0\mathbf{Ca_4}$>$\mathbf{Fe_2}Zn_0\mathbf{Ca_4}$>$Fe_0\mathbf{Zn_6Ca_4}$> $Fe_0\mathbf{Zn_3Ca_4}$> $Fe_0Zn_0\mathbf{Ca_4}$> $\mathbf{Fe_4}Zn_0Ca_0$> $\mathbf{Fe_2}Zn_0Ca_0$> $Fe_0\mathbf{Zn_6}Ca_0$> $Fe_0\mathbf{Zn_3}Ca_0$

بررسی اثرات متقابل سه‌گانه نشان داد که حضور عنصر Ca در ترکیب با آهن و روی منجر به اثربخشی هر چه بیشتر این دو عنصر در کاهش بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار گردید (جدول ۵). در اثرات متقابل سه‌گانه، به نظر می‌رسد که اثر هم‌افزایی کلسیم تحت تأثیر غلظت آهن بوده و از بین چهار ترکیب سه‌گانه، ترکیب‌های $Fe_4Zn_6Ca_4$ و $Fe_4Zn_3Ca_4$ به‌ترتیب با ۲۱/۸۳ و ۲۲/۸۰ درصد سفیدشدگی آریل انار، موفق‌ترین ترکیب تیماری (از ۱۸ ترکیب تیماری) در کاهش عارضه سفیدشدگی انار بودند و در مقایسه با شاهد ($Fe_0Zn_0Ca_0$) با ۸۹/۸۵ درصد سفیدشدگی آریل انار به‌ترتیب منجر به کاهش ۷۶ و ۷۵ درصدی در بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار شدند (جدول ۵).

جدول ۵- درصد و شدت سفیدشدگی آریل تحت تیمارهای محلول‌پاشی آهن، روی و کلسیم در غلظت‌های مختلف براساس آزمون LSD و آزمون t وابسته

Table 5- Comparison of the means percentage and intensity of pomegranate aril paleness under the treatments of iron, zinc and calcium in different concentrations based on LSD test and dependent t- test

تیمار Treatment	درصد سفیدشدگی آریل انار بعد از محلول‌پاشی (سال دوم) Pomegranate aril paleness percentage after foliar application (second year)	درصد سفیدشدگی آریل انار قبل از محلول‌پاشی (سال اول) Pomegranate aril paleness percentage after foliar application (first year)	اختلاف درصد سفیدشدگی آریل انار قبل و بعد از محلول‌پاشی The difference in the paleness percentage of pomegranate arils before and after foliar spraying	شدت سفیدشدگی آریل انار بعد از محلول‌پاشی (سال دوم) Severity of pomegranate aril paleness after foliar application (second year)	شدت سفیدشدگی آریل انار قبل از محلول‌پاشی (سال اول) Severity of pomegranate aril paleness before foliar application (second year)
$Fe_0Zn_0Ca_0$	89.85[a]	88.91	0.94	High-very high	High-very high
$Fe_2Zn_3Ca_0$	75.00[b]	86.71	-11.71*	Moderate	High-very high
$Fe_2Zn_6Ca_0$	70.16[c]	86.05	-15.89*	Low-moderate	High-very high
$Fe_0Zn_3Ca_0$	72.00[c]	85.91	-13.91*	Moderate	High-very high
$Fe_0Zn_6Ca_0$	69.50[c]	86.71	-17.21*	Low-moderate	High-very high
$Fe_2Zn_0Ca_0$	65.33[d]	89.03	-23.81*	Low	High-very high
$Fe_4Zn_0Ca_0$	64.75[d]	88.91	-24.16*	Low	High-very high
$Fe_4Zn_3Ca_0$	64.00[d]	88.71	-24.71*	Low	High-very high
$Fe_4Zn_6Ca_0$	60.17[d]	87.05	-26.88*	Low	High-very high
$Fe_2Zn_3Ca_4$	53.30[e]	88.92	-35.61*	Low	High-very high
$Fe_2Zn_6Ca_4$	50.33[ef]	86.42	-36.19*	Low	High-very high
$Fe_0Zn_0Ca_4$	48.80[f]	87.10	-38.30*	Low	High-very high
$Fe_0Zn_3Ca_4$	45.33[g]	87.32	-42.10*	Low	High-very high
Zn_6Ca_4 Fe_0n	41.83[i]	86.85	-45.02*	Low	High-very high
Fe_2 Zn_0Ca_4	38.00[j]	87.22	-49.22*	Low	High-very high
Fe_4 Zn_0Ca_4	30.33[k]	87.56	-57.34*	Low	High-very high
$Fe_4Zn_3Ca_4$	22.80[l]	86.43	-63.63*	Low	High-very high
$Fe_4Zn_6Ca_4$	21.83[l]	87.94	-66.11*	Low	High-very high
اختلاف میانگین سفیدشدگی آریل قبل و بعد از محلول‌پاشی The difference in the average of aril paleness before and after foliar spraying	-34.98*		-	-	-

میانگین‌هایی با حرف مشترک براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)، از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

*: تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بین میانگین درصد سفیدشدگی آریل انار قبل و بعد از محلول‌پاشی براساس آزمون t وابسته

Means with a common letter based on the LSD test are not statistically significant at the 5% of probability level

*: significant difference at the 5% of probability level between the means paleness percentage of pomegranate arils before and after foliar spraying based on the dependent t- test

علاوه‌بر درصد سفیدشدگی آریل انار، بررسی شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار تحت تأثیر تیمارهای محلول‌پاشی صرف نظر از نوع ترکیب تیماری نشان داد که شدت عارضه سفیدشدگی ۵۴ درخت انتخابی در سال ۱۴۰۱ در محدوده زیاد تا خیلی زیاد بود و پس از

اعمال محلول‌پاشی، ۷۲ درصد درختان انتخابی دارای عارضه سفیدشدگی با شدت کم و ۲۶ درصد دارای شدت عارضه کم-متوسط بودند. جزئیات مربوط به درصد و شدت عارضه سفیدشدگی درختان انتخابی قبل و بعد از محلول‌پاشی در جدول ۵ نشان داده شده است.

تغذیه در دوران رشد میوه یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر خصوصیات کمّی و کیفی میوه است (Rajpal *et al.*, 2002). نتایج آزمایش سال اول (۱۴۰۱) گویای این واقعیت است که با وقوع عارضه سفیدشدگی، کیفیت میوه‌های انار از نظر ارزش غذایی مرتبط با عناصر معدنی و آنتوسیانین به‌شدت کاهش یافت. هم‌راستا با نتایج مطالعه حاضر، میقانی و همکاران (Meighani *et al.*, 2014) نیز گزارش داد که مقدار کلسیم، آهن و محتوای آنتوسیانین در میوه‌های آسیب‌دیده انار ناشی از عارضه دانه سفیدی در مقایسه با میوه‌های سالم کمتر بود، امّا میزان روی در میوه‌های آسیب‌دیده بالاتر بود. همچنین شاته و واسکار (Shete & Waskar, 2005)، کاهش در مقدار عنصر کلسیم در میوه‌های دچار عارضه سفیدشدگی انار را تأیید نمودند.

آنتوسیانین یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کیفی انار است و رنگ آب انار را به این ترکیب نسبت می‌دهند (Zaouay *et al.*, 2012). هم‌راستا با نتایج مطالعه حاضر، شیواشانکار و همکاران (Shivashankara *et al.*, 2004) نشان دادند که محتوای آنتوسیانین در آریل میوه‌های دچار عارضه دانه سفیدی، کمتر از آریل‌های سالم است. کاهش محتوای آنتوسیانین در میوه‌های آسیب‌دیده می‌تواند منعکس‌کننده کاهش همزمان در نرخ سنتز آنتوسیانین به‌دلیل مهار رونویسی mRNA ژن‌های بیوسنتتیک آنتوسیانین (Oren-Shamir, 2009) از یک‌سو و تسریع تخریب شیمیایی رنگ دانه‌ها از سوی دیگر (Mori *et al.*, 2007) تحت شرایط محتمل در بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار باشد. از سوی دیگر، نقش عناصر آهن، روی و کلسیم در الگوی بیان برخی ژن‌های دخیل در بیوسنتز و انباشت آنتوسیانین تأیید شده است (Rezaei *et al.*, 2022)؛ با این وجود، غلظت این عناصر در بافت‌های گیاهی به‌شدت بر نقش این عناصر در فعالیت ژن‌های مسیر بیوسنتز آنتوسیانین و سایر ژن‌های دخیل در فرآیند رشد و نمو گیاه مؤثر است. به‌عنوان مثال، فعالیت آنزیم آنتوسیانین ۳-O- گلوکوزیل ترانسفراز به‌عنوان یک آنزیم کلیدی در بیوسنتز آنتوسیانین در بافت‌های گیاهی، در حضور عناصر روی، منگنز و مس با غلظت یک میلی‌مولار به‌طور کامل مهار می‌شود. اثر مهارکنندگی این عناصر آزاد در محیط *in vitro* احتمالاً ناشی از تخریب پیش‌ماده‌های بیوسنتز آنتوسیانین باشد (Gould *et al.*, 2008). در مطالعه حاضر نیز در میوه‌های آسیب‌دیده با آریل‌هایی به رنگ قهوه‌ای در مقایسه با میوه‌های سالم با رنگ آریل قرمز شفاف، غلظت بالایی از عنصر روی مشاهده شد.

علی‌رغم وجود گزارش‌هایی مبنی بر وجود ارتباط بین غلظت عناصر فلزی و سنتز آنتوسیانین، اطلاعات کمی در مورد نقش یون-های فلزی در تجزیه آنتوسیانین وجود دارد. امّا ارتباط بین یون‌های فلزی با عوامل اکسیداسیون ترکیبات پلی‌فنلی مشارکت‌کننده در بیوسنتز آنتوسیانین تأیید شده است. از نظر شیمیایی، آنتوسیانین‌ها گلیکوزیدهایی از مشتقات پلی‌هیدروکسی و پلی‌متوکسی نمک‌های ۲- فنیل بنزو پیریلیوم یا فلاویلیوم هستند (دو حلقه بنزوئیل A و B توسط حلقه C هتروریسکلیک جدا می‌شوند) (Pojer *et al.*, 2013). گلیکوزیله شدن ترکیبات فلاونوئیدی فلاویلیوم (آنتوسیانین‌ها) منجر به سنتز آنتوسیانین‌ها می‌گردد (Kulkarni & Aradhya, 2005). یون‌های فلزی، کوفاکتورهای رایج در فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) هستند (Mayer, 2006). اکسیداسیون مستقیم ترکیبات پلی-فنلی به‌وسیله آنزیم PPO، یکی از عوامل مؤثر در قهوه‌ای شدن بافت میوه و تخریب آنتوسیانین عنوان شده است (Tomás-Barberan & Espin, 2001). در انگور فرنگی (*Phyllanthus emblica*) یون‌های فلزی مس و روی به‌عنوان فعال‌کننده آنزیم PPO عمل می‌کنند (Latha *et al.*, 2013)، درحالی‌که در نیشکر (*Saccharum officinarum*) فعالیت آنزیم PPO به‌طور قابل توجهی توسط یون-های فلزی مس، آلومینیوم و منیزیم مهار می‌گردد (Zhao *et al.*, 2011).

براساس نتایج مطالعه حاضر (آزمایش اول-۱۴۰۱)، تأثیر منفی عارضه سفیدشدگی آریل انار بر محتوای عناصر میکرو و ماکرو به‌خصوص کلسیم، آهن و روی میوه انار تأیید گردید، ازاین¬رو فرضیه کاربرد عناصر آهن، روی و کلسیم به‌صورت محلول‌پاشی به‌منظور بررسی تأثیر در بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار قوت پذیرفت و آزمایش دوم با این هدف طراحی و اجرا گردید. در تأیید فرضیه فوق، چندین پژوهشگر از جمله زارع و همکاران (Zareh *et al.*, 2012) تأثیر مثبت محلول‌پاشی درختان انار با استفاده از سولفات روی را در افزایش غلظت و محتوای عنصر روی در آب میوه انار گزارش دادند. همچنین قایخلو و صداقت‌پور (Ghayekhloo & Sedaghatpour, 2015) اظهار داشتند که استفاده از کود روی منجر به افزایش مقدار عنصر روی در میوه نارنگی (*Citrus reticulata* L.) شد و بیشترین مقدار در تیمار ترکیبی روی-آهن به‌دست آمد.

دو موضوع مهم در اجرای آزمایش سال دوم (۱۴۰۲)، انتخاب روش کوددهی و زمان مناسب کوددهی بود. نتایج بررسی ویژگی‌های خاک محل آزمایش و همچنین شرایط تغذیه گیاه پیش از اجرای آزمایش، نشان از فقر غذایی خاک محل آزمایش و درختان داشت. یکی از دلایل وضعیت نامطلوب خاک محل آزمایش و به تبع آن انتقال و جذب پائین عناصر در برگ درختان انتخابی، حاکمیت شرایط

آهکی، بالا بودن اسیدیته خاک و شوری خاک منطقه مورد آزمایش بود (جدول‌های ۲ و ۳). در خاک‌های آهکی به‌دلیل وجود pH قلیایی و غلظت بالای یون بی‌کربنات، برخی از عناصر غذایی که قابلیت جذب آن‌ها توسط میزان اسیدیته خاک کنترل می‌شود، به ترکیباتی غیرمحلول و غیرقابل استفاده برای گیاه تبدیل می‌گردند (Ramezanian *et al.*, 2009). نتایج دیگر محققان نیز نشان داده است که کمبود آهن و روی بیشتر در گیاهانی دیده می‌شود که در خاک‌های آهکی با اسیدیته بالاتر از ۷/۵ رشد می‌کنند. یون بی‌کربنات تولیدشده در خاک‌های آهکی خاصیت بافری دارد و تا حدی از ایجاد محیط اسیدی در اطراف ریشه جلوگیری می‌نماید و بدین ترتیب از حلالیت بیشتر ترکیب‌های آهن‌دار، قابلیت جذب آهن از سیستم آپوپلاست برگ به داخل سیتوپلاسم از طریق پلاسمالما و در نهایت انتقال و توزیع آهن توسط برگ‌ها کاسته می‌شود (Han *et al.*, 1998). ازاین¬رو روش محلول‌پاشی برگی برای اجرای آزمایش دوم انتخاب گردید. محلول‌پاشی به‌دلیل در اختیار قرار دادن سریع و مستقیم عناصر غذایی به بافت‌های گیاهی از جمله برگ، شاخه و میوه، به‌عنوان روشی کارآمد در بهبود و ارتقا عملکرد کمّی و کیفی درختان میوه شناخته شده است (Hassan *et al.*, 2010).

در خصوص زمان مناسب محلول‌پاشی، براساس نتایج مطالعه فرجی و کرمی (Faraji & Karami, 2024b) مبنی بر بررسی اثر عارضه سفیدشدگی آریل انار بر محتوای متابولیت‌های ثانویه در مراحل مختلف نموی میوه (تشکیل میوه، فندقی شدن میوه، رشد سریع میوه و رسیدگی کامل میوه)، گزارش گردید که از مرحله فندقی شدن میوه تا رسیدگی کامل میوه، بیشترین تغییرات در محتوای متابولیت‌های ثانویه رخ می‌دهد. لذا در مطالعه حاضر محلول‌پاشی طی دو نوبت پایان گل‌دهی-شروع تشکیل میوه (قبل از شروع مرحله فندقی شدن) و پایان مرحله رشد سریع میوه-شروع رسیدگی میوه انجام گردید.

نتایج محلول‌پاشی برگی درختان در آزمایش دوم (۱۴۰۲) نشان داد که محلول‌پاشی درختان با کلسیم کلرید به‌صورت خالص ($Fe_0Zn_0Ca_4$)، سولفات آهن و روی در ترکیب با کلسیم کلرید (ترکیب دوتایی $Fe_4Zn_0Ca_4$, $Fe_2Zn_0Ca_4$, $Fe_0Zn_6Ca_4$) و به‌خصوص ترکیب سه‌گانه این عناصر شامل ($Fe_0Zn_3Ca_4$ و $Fe_4Zn_6Ca_4$ و $Fe_4Zn_3Ca_4$)، تأثیر مثبتی بر کاهش درصد سفیدشدگی آریل انار در رقم 'ملس ساوه' داشت. با توجه به نتایج بررسی ویژگی‌های شیمیایی خاک منطقه مورد آزمایش و وضعیت تغذیه‌ای برگ درختان انتخابی، مؤثر بودن محلول‌پاشی برگ درختان می‌تواند به‌دلیل جذب کمتر این عناصر در خاک‌های آهکی باشد (Mirzapour & Khosh-Goftarmanesh, 2013). همچنین وجود عنصر پتاسیم در خاک منطقه مورد نظر می‌تواند جذب کلسیم را کاهش دهد (Hepaksoy *et al.*, 2000). عنصر آهن و کلسیم جزء عناصر کم‌تحرک می‌باشند. تحرک کم آهن در گیاه به‌دلیل رسوب این عنصر به فرم اکسید و فسفات‌های نامحلول یا تشکیل کمپلکس با پروتئین در برگ (فیتوفریتین) است که حرکت آهن را به آوندهای آبکش و در نتیجه، کل گیاه محدود می‌کند (Taiz & Zeiger, 2002). کلسیم نیز عنصری نسبتاً غیرمتحرک است که بیشتر از طریق آوند چوبی انتقال پیدا می‌کند و اغلب برای حرکت به‌سمت برگ‌ها که میزان تبخیر و تعرق بالایی دارند، گرایش دارد. با این وجود، انتقال کند کلسیم از برگ‌ها منجر به کاهش نسبی غلظت کلسیم میوه در دوره رشد آن می‌گردد (Tabatabaei, 2013). در تأیید اثربخشی محلول‌پاشی بر کیفیت میوه در مطالعه حاضر، در سایر مطالعات نیز محلول‌پاشی کلسیم، آهن و روی بر سطح میوه‌ها به‌عنوان روشی مؤثر برای افزایش عناصر معدنی درونی میوه‌ها و در نتیجه، بهبود کیفیت میوه گزارش شده است (Taiz & Zeiger, 2002). مطابق با نتایج مطالعه حاضر ذبیحی و رضائیان (Zabihi & Rezaeian, 2019) گزارش دادند که محلول‌پاشی سولفات آهن (۰/۳ درصد) و سولفات روی (۰/۶ درصد) منجر به افزایش رنگ آریل‌های انار با عارضه دانه سفیدی (رقم شیشه کپ) گردید. اسدی و همکاران (Asadi *et al.*, 2019) نیز محلول‌پاشی سولفات روی و سولفات آهن یک درصد به‌صورت جداگانه یا ترکیبی و کلات آهن مایع یک درصد را به‌عنوان تیمارهای برتر برای بهبود اختلال فیزیولوژیکی آریل‌های سفید انار در رقم خزر و شیشه کپ توصیه کردند. امّا در خصوص استفاده از کلسیم در کاهش عارضه سفیدشدگی یا دانه سفیدی آریل انار اطلاعات مدونی وجود ندارد. با این وجود، عبداللهی و همکاران (Abdollahi *et al.*, 2024) با بررسی تأثیر محلول‌پاشی سیلیس و نیترات کلسیم در طول فصل رشد نشان داد که محلول‌پاشی ترکیبی/انفرادی با استفاده از کلسیم کلرید و سیلیس در کاهش ترکیدگی و آفتاب‌سوختگی (دو عارضه مهم با اثرات منفی بر کیفیت و بازارپسندی میوه انار) مؤثر بوده و منجر به بهبود کمیت و کیفیت میوه انار گردید.

نتایج مطالعه حاضر (آزمایش دوم) نشان داد که محلول‌پاشی درختان انار منجر به کاهش قابل ملاحظه شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار گردید. در عارضه سفیدشدگی، رنگ آریل‌های انار از قرمز شفاف با توجه به شدت عارضه، به سفید کرمی تا قهوه‌ای سوخته تغییر می‌نمایند (Meighani *et al.*, 2014). با توجه به نقش کلسیم در متابولیسم، کمیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه گیاهان (Badihi *et al.*, 2021)؛ در بسیاری از مطالعات به حصول بیشترین محتوای آنتوسیانین در بافت (میوه و برگ) گیاه بعد از محلول‌پاشی گیاه با استفاده از ترکیبات کلسیمی اشاره شده است (Ahmadi *et al.*,

(2023; Basiri & Zeraatgar, 2023; Gerami *et al.*, 2024).

همچنین، نتایج مطالعه داورپناه و همکاران (Davarpanah *et al.*, 2013) نشان داد که تأمین آهن مورد نیاز درختان انار، کیفیت میوه آن را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهد، به¬طوری‌که آهن به‌طور مستقیم در تولید آنتوسیانین از طریق مداخله در ساختار کلروفیل و افزایش فتوسنتز نقش دارد. در همین راستا، رضائی و همکاران (Rezaei *et al.*, 2022) نشان دادند که در میوه توت فرنگی، محلول‌پاشی کلات آهن با غلظت ۱۴۰۰ میکرومول بر لیتر منجر به افزایش بیان ژن‌های دخیل در سنتز آنتوسیانین شامل *FaSUT1*، *FaMYC1*، *FaMYB1*، *FaCHS* و *FaPAL* و بهبود کیفیت میوه توت فرنگی گردید. در خصوص عنصر روی نیز گزارش شد که استفاده از سولفات روی باعث افزایش فتوسنتز برگ و همچنین محتوای مواد جامد محلول کل، تانن‌ها، فنل کل، فلاونول‌ها، فلاونوئیدها و آنتوسیانین در میوه توت و پوست انگور قرمز شد (Song *et al.*, 2015).

در مطالعه حاضر (آزمایش دوم)، با توجه به اثربخشی قابل ملاحظه در کاهش بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار از طریق محلول‌پاشی ترکیبات دوتایی عناصر، به‌خصوص سولفات آهن–کلسیم کلرید و سولفات روی–کلسیم کلرید در مقایسه با محلول‌پاشی به‌طور جداگانه، فرضیه اثر هم‌افزایی عنصر کلسیم با آهن و روی مطرح می‌باشد. در سایر مطالعات نیز تأثیر متقابل و هم‌افزایی عناصر در کنار یکدیگر از جمله آهن–روی، کلسیم–سیلیس در مقایسه با کاربرد خالص عناصر در افزایش کیفیت میوه انار تأیید شده است (Abdollahi *et al.*, 2024). اثر هم‌افزایی روی و آهن، به تأثیر عنصر روی بر بهبود و افزایش رشد گیاهان نسبت داده می‌شود، به¬طوری‌که در گیاهان رشدیافته، جذب آهن به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت (Asadi *et al.*, 2019). اثر هم‌افزایی عنصر کلسیم در مطالعه حاضر، احتمالاً به نقش کلسیم در ساخت میتوکندری و جذب فعال دیگر عناصر مرتبط باشد، به¬طوری‌که کلسیم با جذب بیشتر عناصر میکرو نظیر روی و آهن در شرایط محتمل در بروز عارضه سفیدشدگی آریل از جمله تنش گرمایی، شوری و آفتاب‌سوختگی، از تشکیل رادیکال‌های آزاد اکسیژن جلوگیری کرده (Rachappanavar *et al.*, 2021) و در مجموع، منجر به کاهش در بروز و شدت عارضه سفیدشدگی آریل انار گردید.

نتیجه‌گیری

عارضه سفیدشدگی آریل یکی از اختلالات فیزیولوژیکی مهم میوه انار می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای کیفیت میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. براساس نتایج مطالعه حاضر (سال اول)، با توجه به اثر منفی عارضه سفیدشدگی بر محتوای عناصر آهن، روی (عناصر میکرو) و کلسیم (عنصر ماکرو)، محلول‌پاشی با سولفات آهن، سولفات روی و کلسیم کلرید به‌عنوان یکی از راهکارهای احتمالی در مقابله با این عارضه در رقم 'ملس ساوه' در مراحل رشد میوه مورد بررسی قرار گرفت (سال دوم). نتایج کلی نشان داد که محلول‌پاشی با این عناصر به‌صورت جداگانه یا ترکیبی در کاهش وقوع و شدت سفیدشدگی آریل انار مؤثر بوده، با این وجود کاربرد همزمان آهن–روی در ترکیب با کلسیم کارآیی بیشتری نسبت به سایر تیمارها برای بهبود صفات مورد اشاره داشت. ازاین‌رو، به‌منظور دستیابی به کاهش همزمان در وقوع و شدت عارضه سفیدشدگی انار، محلول‌پاشی با سولفات آهن چهار در هزار– سولفات روی شش یا سه در هزار– کلسیم کلرید چهار در هزار ($Fe_4Zn_6Ca_4$،$Fe_4Zn_3Ca_4$) در دو مرحله پایان گل‌دهی–شروع تشکیل میوه و پایان رشد سریع میوه–شروع رسیدگی کامل میوه انار توصیه می‌شود. با این وجود، ذکر دو نکته حائز اهمیت است؛ اول آنکه در مرحله دوم محلول‌پاشی (پایان مرحله رشد سریع میوه و شروع مرحله رسیدگی میوه) به‌دلیل تنش گرمایی معمول در محیط اطراف درختان (دما بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) محلول‌پاشی ترکیب سولفات روی به‌تنهایی توصیه نمی‌گردد، چون سبب سوزندگی برگ درختان خواهد شد، لذا باید به‌صورت ترکیب با اسید آمینه مصرف گردد و دوم آنکه اثربخشی ترکیبات توصیه‌شده بر سایر خصوصیات کمّی و کیفی انار رقم 'ملس ساوه' در شرایط محتمل و غیرمحتمل در بروز عارضه سفیدشدگی آریل انار باید مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر در قالب طرح تحقیقاتی مصوب به شماره ۹۳۲۰۷-۰۳-۶۱-۴، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی مرکزتحقیقات، آموزش ترویج کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی انجام گردید.

References

1. Abdollahi, F., Erfani-Moghadam, J., Zarei, A., & Rostaminia, M. (2024). Effect of foliar application of silica and calcium nitrate on cracking, quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruit. *Iranian Journal of Horticultural Science*, *55*(1), 123-134. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijhs.2023.362286.2116

2. Ahmadi, M.A., Daghighi, S., Azarmi-Atajan, F., & Bayat, H. (2023). Effects of foliar application of calcium chloride and potassium sulfate on physical and biochemical properties of jujube fruit (*Ziziphus jujuba* Mill.). *Journal of Horticultural Science*, *37*(3), 769-786. https://doi.org/10.22067/jhs.2023.79367.1204
3. Aizza, L.C.B., & Dornelas, M.C. (2011). A genomic approach to study anthocyanin synthesis and flower pigmentation in passionflowers. *Journal of Nucleic Acids*, *2011*(1), 371517. https://doi.org/10.4061/2011/371517
4. Álvarez-Fernández, A., Melgar, J. C., Abadía, J., & Abadía, A. (2011). Effects of moderate and severe iron deficiency chlorosis on fruit yield, appearance and composition in pear (*Pyrus communis* L.) and peach (*Prunus persica* (L.) Batsch). *Environmental and Experimental Botany*, *71*(2), 280-286. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.12.012
5. Amaliotis, D., Velemis, D., Bladenopoulou, S., & Karapetsas, N. (2002). Leaf nutrient levels of strawberries (cv. Tudla) in relation to crop yield. *Acta Horticulturae*, *567*, 447-450. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.567.93
6. Amirinejad, M., Akbari, G., Baghizadeh, A., Allahdadi, I., Shahbazi, M., & Naimi, M. (2015). Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. *Journal of Crops Improvement*, *17*(4), 855-866. https://doi.org/10.22059/jci.2015.55136
7. Ankerman, D. (1974). *Soil and Plant Analysis, Agricultural Laboratories Inc*., New York, USA. pp. 82.
8. Asadi, E., Ghehsareh, A.M., Moghadam, E.G., Hodaji, M., & Zabihi, H.R. (2019). Improving of pomegranate aril paleness disorder through application of Fe and Zn elements. *Indian Journal of Horticulture*, *76*(2), 279-288. https://doi.org/10.5958/0974-0112.2019.00043.4
9. Badihi, L., Gerami, M., Akbarinodeh, D., Shokrzadeh, M., & Ramezani, M. (2021). Physio-chemical responses of exogenous calcium nanoparticle and putrescine polyamine in saffron (*Crocus sativus* L.). *Physiology and Molecular Biology of Plants*, *27*, 119-133. https://doi.org/10.1007/s12298-020-00923-x
10. Basiri, S., & Zeraatgar, H. (2023). Effect of calcium chloride, cultivar and maturity on shelf life of fresh jujube fruits. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *25*(6), 1375-1370. https://doi.org/10.22034/jast.25.6.1357
11. Bedigian, D. (2007). Pomegranates. Ancient roots to modern medicine. Medicinal and aromatic plants—Industrial profiles 43. *Economic Botany*, *61*(1), 107-108. https://doi.org/10.1663/0013-0001(2007)61[107b:PARTMM]2.0.CO;2
12. Borochov-Neori, H., Judeinstein, S., Tripler, E., Harari, M., Greenberg, A., Shomer, I., & Holland, D. (2009). Seasonal and cultivar variations in antioxidant and sensory quality of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Journal of Food Composition and Analysis*, *22*(3), 189-195.
13. Cheour, F.U.L.Q., Willemot, C., Arul, J., Desjardins, Y., Makhlouf, J., Charest, P.M., & Gosselin, A. (1990). Foliar application of calcium chloride delays postharvest ripening of strawberry. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, *115*(5), 789-792. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2008.10.011
14. Davarpanah, S., Akbari, M., Askari, M.A., Babalar, M., & Naddaf, M.E. (2013). Effect of iron foliar application (Fe-EDDHA) on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate CV. “ *Malas-e-Saveh". World of Sciences Journal*, *4*, 179-187.
15. El- Razek, E.A., Yousef, A.R.M., & Abdel-Hamed, N. (2015). Effect of chelated Fe, Zn and Mn soil application with spraying GA_3 and ascorbic acid on growth, yield and fruit quality of Flame Seedless grapevines under calcareous soil conditions. I*nternational Journal of ChemTech Research*, *8*(6), 441-451.
16. Faraji, S., & Karami, S. (2024a). Spatial distribution of pomegranate aril paleness and its relationship with some environmental and non-environmental factors using geographic information system (GIS). *Iranian Journal of Horticultural Science*. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.372626.2156
17. Faraji, S., & Karami, S. (2024b). The effect of complication of pomegranate aril paleness on the secondary metabolites content and activity of phenylalanine amonialyase (PAL) at different stages of fruit ripening. *Iranian Journal of Horticultural Science*. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijhs.2024.378987.2184
18. Gerami, M., Akbari Nodehi, D., Amiri, M., & Darvakh, E. (2024). Effects of calcium nano-paticle on some physiologic and biochemical characteristics of *Ocimum basilicum* L. under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *40*(2), 415-400. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2024.131551
19. Ghasemi-Soloklui, A.A., Kordrostami, M., & Gharaghani, A. (2023). Environmental and geographical conditions influence color, physical properties, and physiochemical composition of pomegranate fruits. *Scientific Reports*, *13*(1), 15447. https://doi.org/10.1038/s41598-023-42749-z
20. Ghayekhloo, S., & Sedaghathoor, S. (2015). Changes in quantitative and qualitative traits of miagava tangerine (*Citrus reticulata* L.) as affected by Fe, Zn and Mn micronutrients foliar application. *International Journal of Bioscience*, *6*(1), 218-226. https://dx.doi.org/10.12692/ijb/6.1.218-227

21. Gil, M.I., Tomás-Barberán, F.A., Hess-Pierce, B., Holcroft, D.M., & Kader, A.A. (2000). Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *48*(10), 4581-4589. https://doi.org/10.1021/jf000404a
22. Giusti, M.M., & Wrolstad, R.E. (2001). Anthocyanins. characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, *1*, 1-13.
23. Gould, K., Davies, K.M., & Winefield, C. (Eds.). (2008). *Anthocyanins: Biosynthesis, Functions, and Applications*. Springer Science and Business Media, LLC. pp. 8, 174.
24. Hamouda, H.A., El-Dahshouri, M.F., Hafez, O.M., & Zahran, N.G. (2015). Response of leconte pear performance, chlorophyll content and active iron to foliar application of different iron sources under the newly reclaimed soil conditions. *International Journal of Chemistry Technolgy Research*, *8*(4), 1446-1453.
25. Han, Z. H., Shen, T., Korcak, R.F., & Baligar, V.C. (1998). Iron absorption by iron-efficient and-inefficient species of apples. *Journal of Plant Nutrition*, *21*(1), 181-190. https://doi.org/10.1080/01904169809365392
26. Hasani, M., Zamani, Z., Savaghebi, G., & Fatahi, R. (2012). Effects of zinc and manganese as foliar spray on pomegranate yield, fruit quality and leaf minerals. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *12*(3), 471-480. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000009
27. Hassan, H.S.A., Sarrwy, S.M.A., & Mostafa, E.A.M. (2010). Effect of foliar spraying with liquid organic fertilizer, some micronutrients, and gibberellins on leaf mineral content, fruit set, yield, and fruit quality of “Hollywood” plum trees. *Agriculture and Biology Journal of North America*, *1*(4), 638-643.
28. Hepaksoy, S., Aksoy, U., Can, H. Z., & Ui, M.A. (2000). Determination of relationship between fruit cracking and some physiological responses, leaf characteristics and nutritional status of some pomegranate varieties. In P. Melgarejo, J.J. Martínez-Nicolás & J. Martínez-Tomé (Eds.), *Production, Processing and Marketing of Pomegranate in the Mediterranean Region*: *Advances in Research and Technology*. pp. 87-92. *Options Méditerranéennes Série A. Séminaires Méditerranéens*.
29. Kavand, M., Arzani, K., Barzegar, M., & Mirlatifi, M. (2020). Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit quality attributes in relation to aril browning disorder. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *22*(4), 1053-1065. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2020.22.4.7.9
30. Koushesh Saba, M., Arzani, K., & Barzegar, M. (2016). Impact of postharvest calcium treatments on storage life, biochemical attributes and chilling injury of apricot. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *16*, 1355-1366.
31. Kulkarni, A.P., & Aradhya, S.M. (2005). Chemical changes and antioxidant activity in pomegranate arils during fruit development. *Food Chemistry*, *93*(2), 319-324. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.029
32. Landi, L., Feliziani, E., & Romanazzi, G. (2014). Expression of defense genes in strawberry fruits treated with different resistance inducers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*(14), 3047-3056. https://doi.org/10.1021/jf404423x
33. Latha, K., Dhanya, K.J., & Swapna, K.R. (2013). Isolation and characterization of polyphenol oxidase from *Phyllanthus emblica* (Indian gooseberry). *International Journal of Science Inventions Today*, *2*, 311-318.
34. Mayer, A.M. (2006). Polyphenol oxidases in plants and fungi: going places? A review. *Phytochemistry*, *67*(21), 2318-2331. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2006.08.006
35. Meighani, H., Ghasemnezhad, M., & Bakshi, D. (2014). Evaluation of biochemical composition and enzyme activities in browned arils of pomegranate fruits. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, *1*(1), 53-65. https://doi.org/10.22059/ijhst.2014.50518
36. Mirdehghan, S.H., & Rahemi, M. (2007). Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae*, *111*(2), 120-127. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.10.001
37. Mirzapour, M.H., & Khoshgoftarmanesh, A.H. (2013). Effect of soil and foliar application of iron and zinc on quantitative and qualitative yield of pomegranate. *Journal of Plant Nutrition*, *36*(1), 55-66. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.733049
38. Moradinezhad, F., Hassan Pour, S., & Sayyari Zahan, M.H. (2018). Influence of preharvest spray of calcium chlorideand salicylic acid on physicochemical and quality properties of fresh seedless barberry fruit. *Journal of Horticultural Science*, *32*(1), 61-74. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v32i1.60331
39. Mori, K., Goto-Yamamoto, N., Kitayama, M., & Hashizume, K. (2007). Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. *Journal of Experimental Botany*, *58*(8), 1935-1945. https://doi.org/10.1093/jxb/erm055
40. Narjesi, V. (2021). Effects of different shade netting treatments on some quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruits cv. Malas-e-Saveh. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *31*(1), 275-293. (in Persian). https://doi.org/10.22034/saps.2021.12815
41. Oren-Shamir, M. (2009). Does anthocyanin degradation play a significant role in determining pigment concentration in plants?. *Plant Science*, *177*(4), 310-316. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2009.06.015

42. Pojer, E., Mattivi, F., Johnson, D., & Stockley, C.S. (2013). The case for anthocyanin consumption to promote human health: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science And Food Safety*, *12*(5), 483-508. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12024
43. Rachappanavar, V., Padiyal, A., Sharma, J.K., Gupta, S.K., & Negi, N. (2021). *Efficient Exploration of Silicon Derived Benefits to Combat Biotic and Abiotic Stresses in Fruit Crops*. Preprint from Research Square, 13 Dec 2021. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1052525/v1
44. Rahemi, M. (2011). *Post-Harvest Physiology: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruits, Vegetables and Ornamental*. Shiraz University Press, Shiraz, Iran. pp. 460.
45. Rajpal, S., Godara, N.R., & Ahlawat, V.P. (2002). Qualitative attributes affected by foliar spraying of nutrients and growth regulators in ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) cv. Umran. *Haryana Journal of Horticultural Sciences*, *31*(1/2), 23-25.
46. Ramezanian, A., Rahemi, M., & Vazifehshenas, M.R. (2009). Effects of foliar application of calcium chloride and urea on quantitative and qualitative characteristics of pomegranate fruits. *Scientia Horticulturae*, *121*(2), 171-175. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.01.039
47. Rezaei, S., Amiri, M., Bahari, A., Razavi, F., Soleimani Aghdam, M., & Beyrami, H. (2022). Effect of foliar iron application on anthocyanin genes expression during of developmental stages in strawberry fruit. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *35*(4), 745-762. (in Persian with English abstract).
48. Schaart, J.G., Dubos, C., Romero De La Fuente, I., van Houwelingen, A.M., de Vos, R.C., Jonker, H.H., Xu, W., Routaboul, J.M., Lepinies, L., & Bovy, A.G. (2013). Identification and characterization of MYB-b HLH-WD 40 regulatory complexes controlling proanthocyanidin biosynthesis in strawberry (*F. ragaria*× *ananassa*) fruits. *New Phytologist*, *197*(2), 454-467. https://doi.org/10.1111/nph.12017
49. Sedaghat, S., Rahemi, M., & Jafari, M. (2021). Effects of soil and water salinity on aril whitening in pomegranate. *Research in Pomology*, *6*(1), 121-128. (in Persian). https://doi.org/10.30466/rip.2021.121091
50. Shete, M.B., & Waskar, D.P. (2005). Internal breakdown of pomegranate (*Punica granatum* L.) fruits-a review. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities*, *30*, 59-61.
51. Shivashankara, K.S., Subhas, C.M., Laxman, R.H., Vijayalaxmi, G.P., & Bujjibabu, C.S. (2004). Physiological and biochemical changes associated with aril browning of pomegranate (*Punica granatum* cv. Ganesh). *Journal of Plant Bio*logy, *31*, 149-152.
52. Siegelman, H.W., & Hendricks, S.B. (1958). Photocontrol of anthocyanin synthesis in apple skin. *Plant Physiology*, *33*(3), 185. https://doi.org/10.1104/pp.33.3.185
53. Song, C.Z., Liu, M.Y., Meng, J.F., Chi, M., Xi, Z.M., & Zhang, Z.W. (2015). Promoting effect of foliage sprayed zinc sulfate on accumulation of sugar and phenolics in berries of *Vitis vinifera* cv. Merlot growing on zinc deficient soil. *Molecules*, *20*(2), 2536-2554. https://doi.org/10.3390/molecules20022536
54. Tabatabaei, J. (2013). *Principles of Plant Mineral Nutrition*. Tabriz University Press, Tabriz, Iran. pp. 562. (In Persian)
55. Taiz, L., & Zeiger, E. (2002). *Mineral Nutrition*. p. 67-86. Plant Physiology. 3rd Ed. Sinauer Associates Inc. Publishers.
56. Tomás-Barberán, F.A., & Espín, J.C. (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *81*(9), 853-876. https://doi.org/10.1002/jsfa.885
57. Zabihi, H.R., & Rezaeian, S. (2019). The effect of iron and zinc sulfate foliar application on the reduction of seed whitening of Shisheh-Cap cultivar for pomegranate fruit. *Journal of Horticultural Science*, *33*(2), 323-333. (in Persian). https://doi.org/10.22067/jhorts4.v0i0.76011
58. Zaouay, F., Mena, P., Garcia-Viguera, C., & Mars, M. (2012). Antioxidant activity and physico-chemical properties of Tunisian grown pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Industrial Crops and Products*, *40*, 81-89. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.045
59. Zareh, M., Adhami, E., Owliaie, H., & Ramezanian, A. (2012). Effects of foliar applications of iron and zinc on yield, fruit quantitative and qualitative characteristics and mineral composition of pomegranate (*Punica granatum* L.) leaf. *Journal of Horticultural Science and Technology*, *13*, 189-198. (in Persian)
60. Zhao, Z., Zhu, L., Yu, S., & Saska, M. (2011). Partial purification and characterization of polyphenol oxidase from sugarcane (*Saccharum officinarum* L.). *Zuckerindustrie-Sugar Industry*, *136*(5), 296.